مهندسی متالورژی و مواد، ۳۳، ۳، ۱٤۰۱. (۱۰-۱)



مهندسی متالورژی و مواد

https://jmme.um.ac.ir/

بررسی و مطالعه تاثیربمباران یونی در مقاومت به خوردگی استیل با آرگون*

مقاله پژوهشی

امیر هوشنگ رمضانی (۱)

DOI: 10.22067/jmme.2022.77291.1057

چکیده *در این پژوهش برای بمباران سطح استیل ۳۰٤ از یون‌های آرگون با انرژی ۳۰ کیلو الکترون ولت و جریان یونی ۱۰^۱۷ تا ۱۰^۱۸ یون بر سانتی‌متر مربع‌استفاده شده است. تغییرات ریخت شناسی سطح استیل بعد از بمباران یون‌های‌آرگون توسط دستگاه AFM مشاهده و مورد بررسی قرار گرفت، تغییر در خصوصیات خوردگی سطح استیل ۳۰٤ نیز توسط دستگاه تست خوردگی انجام گردید. تغییرات بر اثر بمباران یونی در زبری سطح و همچنین مقاومت در برابر خوردگی سطح استیل ۳۰٤ کاملا مشهود و قابل ملاحظه بود و رابطه مستقیمی با افزایش زبری و جریان یونی بمباران یونی دارد. از مقایسه نمودار نتایج پتانسیل خوردگی و نمودار تغییرات زبری کاملا مشخص است که پتانسیل خوردگی با جریان یونی یون‌های آرگون نسبت معکوس داشته و با بالا رفتن جریان یونی پتانسیل خوردگی کاهش می‌یابد، این روند را می‌توان به اثر برخورد یون‌های آرگون به سطح نسبت داد که در مقاومت در برابر خوردگی یک نکته منفی محسوب می‌شود.از بررسی نمودار تغییرات جریان خوردگی به این نتیجه می‌رسیم که این نمودار از هیچ کدام از نمودارهای پتانسیل خوردگی و تغییرات زبری بر حسب جریان یونی پیروی نمی‌کند.از بررسی نمودار تغییرات جریان خوردگی به این نتیجه می‌رسیم در جریان یونی ۵×۱۰^۱۷ حدودا دوازده برابر کاهش در جریان خوردگی و افزایش در برابر مقاومت در برابر خوردگی را نشان می‌دهد.*

واژه های کلیدی آرگون، بمباران یونی، خوردگی، استیل.

Investigation of the Effect of ion Bombardment on the Corrosion Resistance of Steel with Argon

Amir Hoshang Ramezani

Abstract *The aim of this work is the study of the argon implantation on the corrosion resistance behavior of AISI 304 stainless steel substrates. The effect of ion implantation dose on morphology and corrosion properties of AISI 304 SS has been investigated.In this work, argon ions of 30 keV energy have been implanted into AISI 304 stainless steel at different fluences ranging from* 3×10^{17} *to* 10×10^{17} *Ar/cm2.The AFM analysis of implanted samples clearly shows significant change in surface. In order to evaluate the effect of the ion bombardment on the corrosion behavior, otentiodynamic tests were performed. The results show that the corrosion resistance of the samples strongly depends on the implantation fluences.The Corrosion potential and roughness curves obviously indicate that corrosion Potential variations caused by argon ion bombardment are inversely proportional to surface roughness. Corrosion current variations show an optimal dose at* 5×10^{17} *ions/ cm²* *in which the corrosion resistivity is 12 times higher than un-implanted sample.*

Key Words: Argon, bombardment, Corrosion

*تاریخ دریافت مقاله ۱٤۰۱/۳/۳۱ و تاریخ پذیرش آن ۱٤۰۱/۵/۲۵ می‌باشد.

(۱) گروه فیزیک ،واحد تهران غرب ، دانشگاه آزاد اسلامی ،تهران ،ایران.

Email: ramezani.1972@gmail.com

مقدمه

رفتارهای سطح فلزات، عموماً منجر به حل مسائل ساییدگی، اصطحکاک، سختی، فرسودگی، خوردگی و اکسیداسیون می‌شود. استفاده از کاشت یون، در این زمینه نسبتاً جدید است. باریکه یون یک روش مستقیم برای تشکیل آلیاژهای فلزی با دقت مکانی کنترل شده، به‌دست می‌دهد. از این رو در متالورژی می‌توان خصوصیات مواد جدید و موارد مطلوب را پیگیری و انتخاب کرد. تشکیل آلیاژهای خارجی، توسط کاشت ممکن است در ابر رساناها با دیگر تکنولوژیهای با ارزش به‌کار رود.

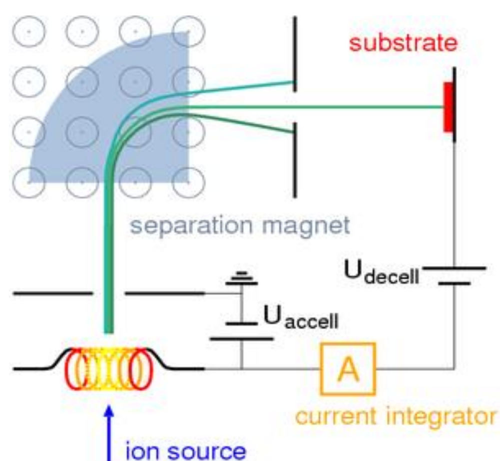
باریکه یون یک روش مستقیم برای تشکیل آلیاژهای فلزی با دقت مکانی کنترل‌شده، به‌دست می‌دهد. از این‌رو در متالورژی می‌توان خصوصیات مواد جدید و موارد مطلوب را پیگیری و انتخاب کرد. تشکیل آلیاژهای خارجی، توسط کاشت ممکن است در ابررساناها با دیگر تکنولوژیهای باارزش به‌کار رود. فرا روش مواد با استفاده از باریکه یونی نتیجه برخورد و ورود یون‌های با انرژی چندالکترون ولت تا چندین مگاالکترون ولت به لایه‌های سطحی جامدات می‌باشد. گستردگی تأثیرات این فرایند زمانی مشخص می‌شود که بدانیم گستره عظیمی از خصوصیات فیزیکی جامدات متأثر از مقدار اتم‌های خارجی آنها است. خصوصیاتی از قبیل مکانیکی، الکتریکی، اپتیکی، مغناطیسی جامدات از خواصی هستند که کاملاً به حضور و میزان یون‌های خارجی در جامد وابسته می‌باشند.

در کاشت یون فلزات، در مورد تغییر ابعاد فیزیکی، تغییر مختصر سطح قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد. کاشت سطح سخت منجر به اعوجاج و دگرگونی نمی‌شود [1-2]. انتخاب اولیه یونها به قابلیت چشمه‌های دستگاه کاشت یون و داشتن دانش قبلی در مورد آن دسته از یونهایی که اثرات مفیدی روی رفتار قراردادی فلزات دارند، بستگی دارد. ویژگی‌هایی از قبیل در دسترس بودن، ارزان بودن و سادگی نسبی فرایند ساخت، باعث شده است که استیل ۳۰٤ دارای کاربردهای فراوانی در صنعت باشد. از جمله این کاربردها می‌توان به استفاده در ابزار برشی، سازه‌های دریایی و بدنه کشتی‌ها، ابزار پزشکی و صنعت ماشین‌سازی اشاره کرد که در همه این کاربردها خواص سطحی این ماده همچون مقاومت در برابر خوردگی و سختی مورد توجه است و دانشمندان و محققان را به انجام تحقیقات روزافزون در این زمینه واداشته است. استفاده از روش بمباران یون برای بهبود کیفیت سطح آلیاژ دانشی است که در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. از میان آلیاژهای فلزی استیل نگیر ۳۰٤ به‌علت میزان قابل توجه کرم در ساختار آن موارد استفاده فراوان از جمله قطعات به‌کار رفته در کشتیها و مکانهایی که در آنها احتمال خوردگی سطحی وجود دارد استفاده می‌شود.

پارامترهایی مانند دما، انرژی یون، چگالی جریان و تابش در ویژگی فیلم‌های بمبارانه‌شده یونی مهم هستند. فرایند بمباران یون و شرایط رشد بر مورفولوژی رابطهای بمبارانه‌شده و نمونه‌های تولید شده مکانیکی، الکتریکی و نوری تأثیر می‌گذارد. ویژگی‌هایی از قبیل در دسترس بودن، ارزان بودن و سادگی نسبی فرایند ساخت، باعث شده است که تانتالوم دارای کاربردهای فراوانی در صنعت باشد. از جمله این کاربردها می‌توان به استفاده در ابزار برشی، سازه‌های دریایی و بدنه‌کشتی‌ها، ابزار پزشکی و صنعت ماشین‌سازی اشاره کرد که در همه این کاربردها خواص سطحی این ماده همچون مقاومت در برابر خوردگی و سختی مورد توجه بوده و دانشمندان و محققان را به انجام تحقیقات روزافزون در این زمینه واداشته است. استفاده از روش بمباران یون برای بهبود کیفیت سطح آلیاژ دانشی است که در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

بمباران سطح استیل ۳۰٤ توسط یون‌های آرگون می‌تواند تغییراتی در اندازه دانه‌های سطحی آلیاژ را بسته به میزان یون‌های آرگون درون سطح در پی داشته باشد. در این تحقیق سعی بر این است با بمباران سطح استیل ۳۰٤ توسط یون‌های آرگون در جریان یونی‌های متفاوت میزان تغییرات مقاومت در برابر خوردگی استیل اندازه‌گیری شده و همچنین شرایط بهینه برای بمباران سطح استیل توسط آرگون به‌دست آید. در این طرح از بمباران توسط یون‌های آرگون برای تغییر مقاومت در برابر خوردگی استفاده خواهد شد و اثر تغییر جریان یونی یون بمباران کننده در این فرایند مورد بررسی قرار خواهدگرفت. همچنین بررسی تغییرات سطح بر اثر بمباران یون آرگون نیز

مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. نمایی از دستگاه کاشت در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱ نمایی از یک دستگاه بمباران یونی

روش آزمایشگاهی

در این آزمایش از نمونه‌های استیل ۳۰۴ استفاده شده و نمونه‌ها توسط دستگاه پولیش با صفحه دوار و توسط پوست آب ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۰۰۰ پولیش داده شده و بعد از توسط نمد مخصوص و خمیر الماس با دانه‌های شش، سه و یک میکرون که با محلول Diamond Extender Blue رقیق شده بودند کاملاً صیقلی گردید. در مرحله بعد نمونه‌ها توسط آب و صابون شسته شدند و در محلول استن و الکل به مدت ۲۰ دقیقه تحت عملیات التراسونیک قرار گرفتند و بعد از آن توسط اجاق مخصوص در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا خشک شوند.

این قسمت از آزمایش توسط دستگاه کاشت یون مرکز تحقیقات پلاسما انجام گرفت. چهار عدد از نمونه‌ها را به مساحت‌های تقریبی ۱ cm^2 برای کاشت انتخاب می‌کنیم. خلأ دستگاه در شروع عملیات یون‌سازی (Torr) 2×10^{-5} که در حین عملیات کاشت با توجه به ایجاد باریکه یونی به (Torr) 2×10^{-4} تغییر می‌کند. شرایط کاشت بر روی نمونه‌های استیل برای تمام نمونه‌ها در جدول (۱) آورده شده است. در ضمن دما در مورد تمام نمونه‌ها در حین کاشت ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و همچنین زاویه برخورد برای نمونه‌های کاشت شده صفر درجه (نسبت به خط عمود بر سطح) بوده است.

برای اندازه‌گیری زبری سطح و مطالعات ریخت‌شناسی از AFM (Auto Prob Cp) ساخت شرکت Park Scientific Instrument استفاده شده است. خوردگی الکتروشیمیایی (EC) را می‌توان با استفاده از تجهیزات الکتروشیمیایی مناسب مورد ارزیابی قرار داد. یک دستگاه تجاری مناسب در شکل (۲) مشاهده می‌شود. منبع تغذیه یا یک پتانسیواستات که پتانسیل را کنترل می‌کند یا یک گالوانواستات است که جریان را کنترل می‌کند. طراحی سل الکتروشیمیایی به نحوی است که می‌توان از آن برای الکترودهای کار (WE) نازک یا تُرد نیز استفاده کرد. معمولاً WE که یک سیم به آن متصل شده است در یک رزین اپوکسی قرار دارد. این نوع از WE، یک نمونه متالوگرافی معمولی است که قبل از غوطه‌وری در الکترولیت، به خوبی پولیش شده است. تمام اجزای قرار گرفته در الکترولیت باید خنثی باشند تا باعث اختلال در فرایند الکتروشیمیایی نشوند. طرح‌های دیگر از سل‌های تجاری در مراجع مختلف آورده شد است. شکل (۲) یک سل الکتروشیمیایی را بر اساس استاندارد ASTM G-5 نشان می دهد که توسط شرکت EG&G Princeton طراحی شده است. این سل برای ایجاد توزیعی یکنواخت از جریان در سطح We، دو الکترود کمکی از جنس گرافیت دارد. به این سل، سل سه الکترود گفته می‌شود.

جدول ۱ پارامترهای کاشت برای نمونه‌های مختلف

نمونه	۱	۲	۳	٤
انرژی (کیلو الکترون ولت)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
چگالی جریان (بر سانتی‌متر مربع)	۱٤۰	۱٤۰	۱٤۰	۱٤۰
جریان یونی (یون بر سانتی‌متر مربع)	5×10^{17}	7×10^{17}	1×10^{18}	3×10^{17}
زمان کاشت (ثانیه)	٦۰۰	۹۲۰	۱۱۵۰	۲۳۰۰
دمای نمونه (درجه سانتی‌گراد)	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰



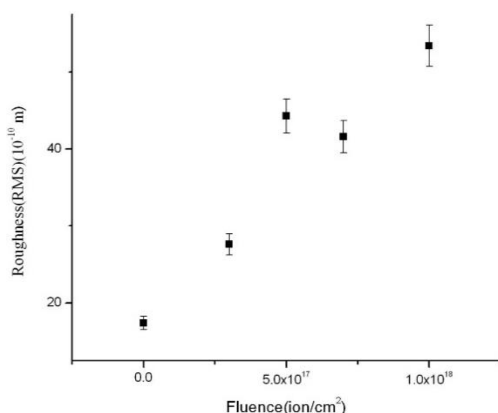
شکل ۲ دستگاه الکتروشیمیایی مدرن

نتایج و بحث

یکی از مشخصاتی که بعد از کاشت یون تغییر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت دانه‌بندی سطح نمونه تحت کاشت می‌باشد. تغییرات دانه‌بندی از این‌نظر موردتوجه می‌باشد که در اکثر مواقع رابطه‌ای بین دانه‌بندی و زبری سطح وجود دارد. برای بررسی این مشخصه از دستگاه تصاویر به‌دست آمده از میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است. در ذیل نتایج آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی برای نمونه‌های کاشت شده و نمونه کاشت نشده آورده شده است. میکروسکوپ نیروی اتمی در حالت غیر تماسی و در ناحیه اسکن یک میلی متر مربع با نوک تنش کم شعاع کمتر از ۲۰ نانومتر انجام شد. به منظور بررسی توپوگرافی و زبری سطح، از آنالیز AFM در حالت تماس و مساحت اسکن ۱ میلی‌متر مربع استفاده شد.

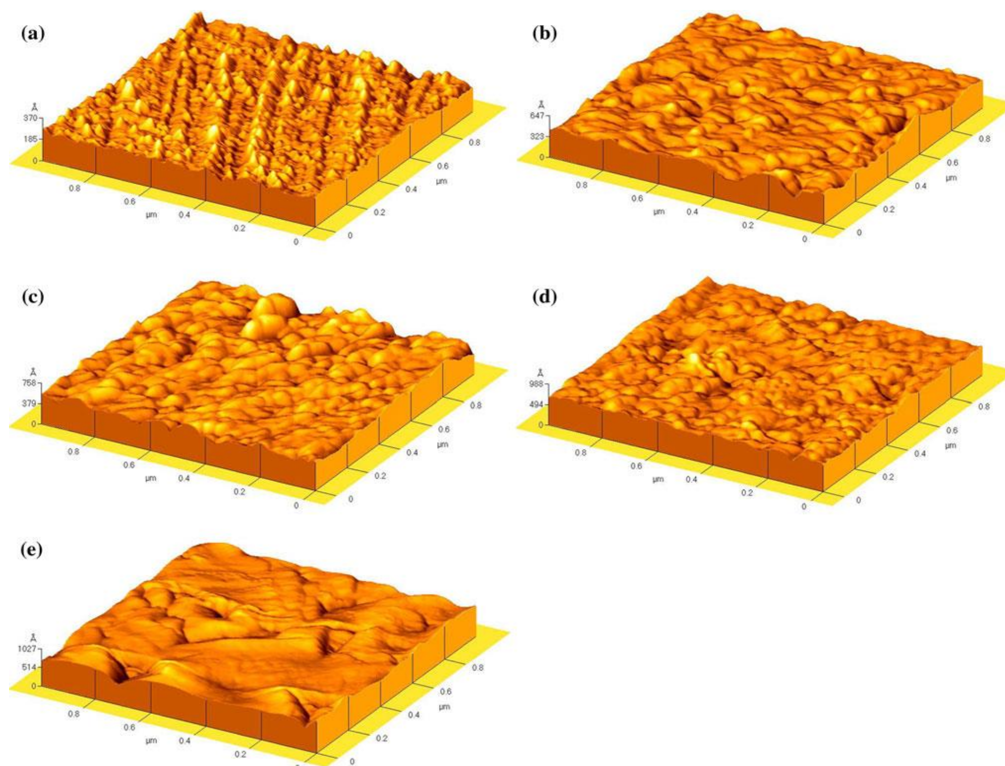
یکی از مشخصاتی که بعد از بمباران یون تغییر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت دانه‌بندی سطح نمونه تحت بمباران می‌باشد. تغییرات دانه‌بندی از این‌نظر موردتوجه می‌باشد که در اکثر مواقع رابطه‌ای بین دانه‌بندی و زبری سطح وجود دارد. برای بررسی این مشخصه از دستگاه تصاویر به‌دست آمده از میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است. در ذیل نتایج آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی برای نمونه‌های بمباران شده و نمونه بمباران نشده آورده شده است تغییرات زبری در شکل (۳) آورده شده است.

همان‌طور که در نمودار مشخص می‌باشد زبری سطح بر اثر کاشت یون تا جریان یونی 5×10^{17} ion/cm^2 افزایش یافته ولی در جریان یونی 7×10^{17} ion/cm^2 به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌باشد. و در جریان یونی 1×10^{18} دوباره افزایش می‌یابد. این فرایند را می‌توان به این‌گونه توجیه نمود که با توجه به این‌که استیل مورد استفاده یک فلز چند کریستالی بوده بر اثر بمباران یونی صفحات کریستالی مختلف سطح استیل به‌صورت یکسان خورده نخواهند شد و منجر به ایجاد پستی و بلندی‌های بیشتر و بالا رفتن زبری خواهد شد.

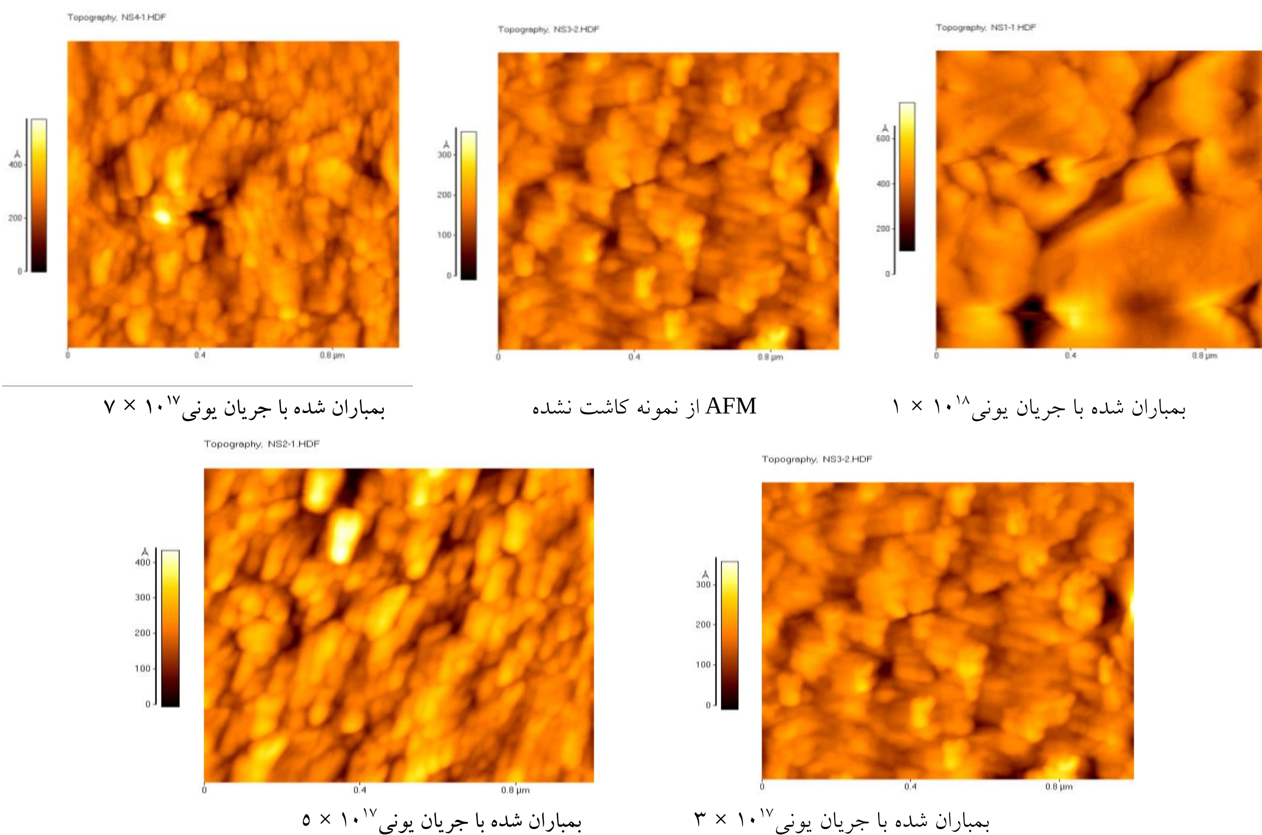


شکل ۳ نمودار تغییرات زبری سطح استیل با افزایش جریان یونی بمباران یونی

بعد از مدتی بلندی‌های سطح خود مانع برخورد یون به دیگر نقاط سطح می‌شوند یعنی به نوعی موجب ایجاد سایه‌هایی بر روی سطح می‌گردند. طبیعی است عمل خوردگی فیزیکی بر اثر برخورد یون‌ها بر روی این بلندی‌ها ادامه یابد و در مکان‌های سایه اتفاق خاصی روی ندهد و همچنین در ادامه اتم‌های کنده شده از بلندی‌ها می‌توانند بر روی سایه‌ها و دره‌ها نهشت مجدد شوند [17]. توجیه دیگر برای کم شدن زبری در جریان یونی 5×10^{18} می‌تواند افزایش میزان انتشار سطحی اتمهای استیل بر روی سطح نمونه باشد [18-25]. در شکل (٤) و (٥) همچنین تصاویر سه‌بعدی و دوبعدی از آنالیزهای AFM برای مقایسه آورده شده است.



شکل ٤ آنالیز AFM از نمونه‌های بمباران شده: (الف) آنالیز AFM از نمونه کاشت نشده، (ب) آنالیزAFM از نمونه بمباران شده با جریان یونی ۳×۱۰^{۱۷} ، (ج) آنالیز AFM از نمونه بمباران شده با جریان یونی ۵×۱۰^{۱۷}، (د) آنالیز AFM از نمونه بمباران شده با جریان یونی ۱×۱۰^{۱۸}، (ه) آنالیز AFM از نمونه بمباران شده با جریان یونی ۷×۱۰^{۱۷}



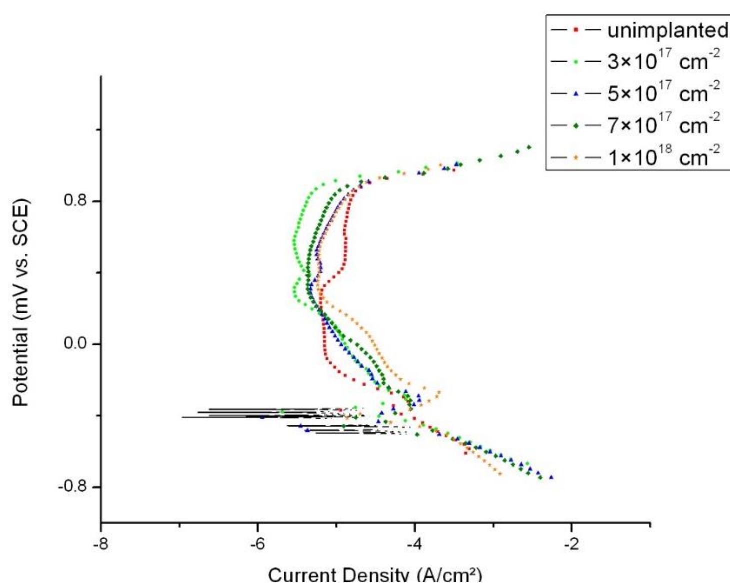
شکل ۵ آنالیز AFM با تصاویر دو بعدی از نمونه‌های بمباران شده با جریان یونی متفاوت

شکل (٦) نمودارهای پلارازیسیون نمونه‌ها قبل و بعد از کاشت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص می‌باشد تمام نمونه‌ها رفتار اکتیو-پسیو از خود نشان داده‌اند.

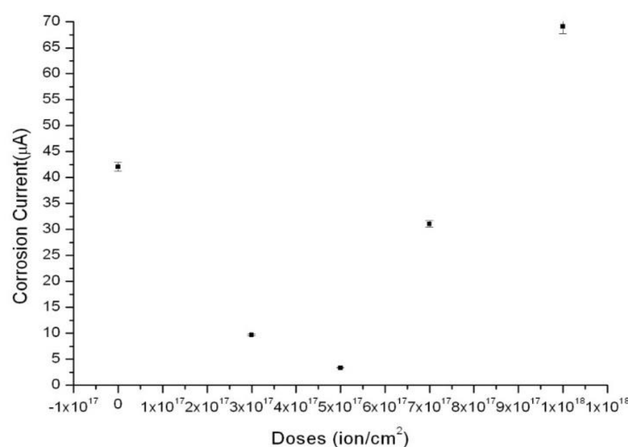
شکل (٧) تغییرات جریان خوردگی بر اثر کاشت یون نیتروژن در تیتانیوم را نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که جریان خوردگی در نمونه کاشت شده با جریان یونی 5×10^{17} ion/cm ^{2} کمترین جریان خوردگی و نمونه کاشت شده با جریان یونی 1×10^{18} ion/cm ^{2} بیشترین جریان خوردگی حتی بیش از نمونه کاشت نشده را دارا می‌باشد.

شکل (٨) نمودار پتانسیل خوردگی نمونه‌ها به جریان یونی یون‌های آرگون را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (٦) مشخص می‌باشد پتانسیل خوردگی با اولین کاشت یون در جریان یونی 3×10^{17} ion/cm ^{2} کاهش داشته است. این روند در جریان یونی 5×10^{17} ion/cm ^{2} نیز ادامه یافته و به یک میزان حداقلی می‌رسد. در جریان یونی 7×10^{17} ion/cm ^{2} افزایشی در پتانسیل خوردگی مشاهده می‌شود که این روند ثابت نبوده و در جریان یونی 1×10^{18} ion/cm ^{2}، دوباره پتانسیل خوردگی کاهش می‌یابد.

شکل (٨) تغییرات جریان پسیو شدن را بر اثر بمباران یون آرگون نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که جریان خوردگی در نمونه کاشت شده با جریان یونی 8×10^{17} ion/cm ^{2} کمترین جریان خوردگی و نمونه کاشت شده با جریان یونی 1×10^{18} ion/cm ^{2} بیشترین جریان خوردگی حتی بیش از نمونه کاشت نشده را دارا می‌باشد.



شکل ٦ نمودارهای پلارازیسیون مربوط به نمونه بمباران نشده و بمباران شده توسط یون آرگون



شکل٧ تغییرات جریان خوردگی بر اثر بمباران یونی در جریان یونی‌های مختلف

نتیجه‌گیری

خلاصه نتایج به‌دست آمده از بمباران سطح استیل ۳۰۴ توسط یون‌های آرگون به قرار زیر می‌باشد. از مقایسه نمودار نتایج پتانسیل خوردگی و نمودار تغییرات زبری کاملاً مشخص است که پتانسیل خوردگی با جریان یونی یون‌های آرگون نسبت معکوس داشته و با بالا رفتن جریان یونی پتانسیل خوردگی کاهش می‌یابد، این روند را می‌توان به اثر برخورد یون‌های آرگون به سطح نسبت داد که در مقاومت در برابر خوردگی یک نکته منفی محسوب می‌شود.از بررسی نمودار تغییرات جریان خوردگی به این نتیجه می‌رسیم که این نمودار از هیچ کدام از نمودارهای پتانسیل خوردگی و تغییرات زبری بر حسب جریان یونی پیروی نمی‌کند. اما از یک نقطه عطف برخوردار است که در جریان یونی ۵×۱۰^{۱۷}ion/cm ^{2} اتفاق افتاده است و حدوداً دوازده برابر کاهش در جریان خوردگی و افزایش در برابر مقاومت در برابر خوردگی را نشان می‌دهد. نکته مهم دیگر در این نمودار افزایش جریان خوردگی در جریان یونی ۱×۱۰^{۱۸} ion/cm ^{2} است که از نمونه بمباران نشده نیز بیشتر بوده است. با توجه به افزایش سیزده درصدی در پتانسیل خوردگی و همچنین کاهش دوازده برابری در جریان خوردگی نمونه بمباران شده با جریان یونی ۵×۱۰^{۱۷}ion/cm ^{2} می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این جریان یونی بهترین جریان یونی برای بالا بردن مقاومت در برابر خوردگی استیل است که بدون تشکیل دادن هیچ پیوند جدیدی بهبود قابل ملاحظه‌ای در مقاومت در برابر خوردگی استیل به وجود آورده است.

تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب انجام شده است.

مراجع

1. Vershinin, N., Filonov, K., Straumal, B., Gust, W., Dimitriou, R., Kovalev, A., and Camacho, J., "Corrosion Resisitance Of The Vacume ", *Surface and Coatings Technology,* 125, Issues 1-3, Pp. 223-228, (2000).
2. Hellal, F., Atmani, F., Malki, B., Sedjal, H., Kerkar, M., and Dalard, F., "Argon Ion Implantations in Tantalum *Thin* Films", *Passivation of Metals and Semiconductors, and Properties of Thin Oxide Layers,* Pp. 371-376, (2006).
3. Smaeel, N., AndijanIsi, Shahreer Ahmad, Anees U., Malik, "Corrosion Behavior of Titanium Metalin Presence of Inhibited Sulfuric Acid at 50º Desalination 129, Pp. 45-51, (2000)
4. Alves de Souza, K., Robin, A., "Influence Of Concentereation and Tempreture Of Corrosion", *Material Chemistry and Physics*, Vol. 103, Pp. 351-360, (2007).
5. Esmaeelpour, M., and Kavei, G., "Study of nitrogen ion implantation and diffusion phenomena on thin chromium layers followed by the atomic force microscopy and secondary ion mass spectroscopy techniques", *Applied Surface Science,* 252, Issue 18, 15, Pp. 6353-6359, (2006).
6. Picard, S., Memet, J. B., Sabot, R., Grosseau, J. L., Riviere, J. P., Meilland, R., "Corrosion behaviour, microhardness and surface characterisation of low energy, high current ion implanted austenitic stainless steel", *Mater. Science. Engineering. A*, Vol. 303, Pp. 163, (2001).
7. Panda**,** K., "The induction of nanographitic phase on Fe coated diamond films for the enhancement in electron field emission properties", *Journal of Applied Physics 110* .044304, (2011)**.**
8. Ramezani, A.H., Hantehzadeh, M.R., Ghoranneviss, M., Darabi, E., "Microstructure and corrosion resistance of tantalum after nitrogen ion implantation",*Corrosion Engineering Science and Technology*. Vol. 51, Pp. 393, (2016).
9. Ramezani, A.H., Ghoranneviss, M., Shokouhy, A., Sari, A., "Corrosion resistance modification of AISI 304 stainless steel using argon ion bombardment", *Journal Fusion Energy* 30, 64, (2011).

10. Ramezani, A.H., Sari, A.H., Shokouhy, A., "The effects of argon ion bombardment on the corrosion resistance of tantalum", *International Nano Letters,* Vol. 7, Pp. 57, (2017).
11. Ramezani, A.H., Hantehzadeh, M.R., Ghoranneviss, M., and Darabi, E., "Structural modification of tantalum crystal induced by nitrogen ion implantation", *Bulletin of Materials Sci- ence,* Vol. 39 (3), Pp.633–640, (2016).
12. Ramezani, A.H., Hantehzadeh, M.R., Ghoranneviss, M., and Darabi, E., "Microstructure and corrosion resistance of tantalum after nitrogen ion implantation", *Corrosion Engineering Science and Technology,* Vol. 51(6), Pp.393–399, (2017).
13. Ramezani, A.H., Ghoranneviss, M., Shokouhy, A., and Sari, A.H., "Corrosion resistance modification of AISI 304 stainless steel using argon ion bombardment", *Journal of Fusion Energy,* Vol. 30 (1), Pp.64–67, (2011).
14. Hoseinzadeh, S., Sahebi, S.A.R., Ghasemiasl, R., and Majidian, A.R., "Experimental analysis to improving thermosyphon (TPCT) thermal efficiency using nanoparti-cles/based fluids (water)", *European Physical Journal Plus,* Vol. 132(5), (2017).
15. Dastan, D., and Banpurkar, A., "Solution processable sol–gel derived titania gate dielectric for organic field effect tran-sistors", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics,* Vol. 28(4), Pp.3851–3859, (2017).
16. Hoseinzadeh, S., Ghasemiasl, R., Bahari, A., Ramezani, A.H., "The injection of Ag nanoparticles on surface of WO3 thin film: enhanced electrochromic coloration efficiency and switching response", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics,* 2017, Vol. 28(19), Pp. 14855-63, (2017).
17. Dastan, D., Panahi, S.L., Chaure, N.B., "Characterization of titania thin films grown by dip-coating technique", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 27(12), Pp. 12291, (2016).
18. Hoseinzadeh, S., Ghasemiasl, R., Bahari, A., Ramezani, A.H., "n-type WO3 semiconductor as a cathode electrochromic material for ECD devices", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics,* Vol. 28(19), Pp. 14446-52, (2017).
19. Najafi-Ashtiani, H., Bahari, A., Gholipour, S., Hoseinzadeh, S., "Structural, optical and electrical properties of WO3–Agnanocomposites for the electro-optical devices", *Applied Physics A*, Vol. 124(1), (2017).
20. Hoseinzadeh S., Ghasemiasl R., Bahari A., Ramezani A.H., "Effect of Post-annealing on the Electrochromic Propertiesof Layer-by-Layer Arrangement FTO-WO3-Ag-WO3-Ag", *Journal of Electronic Materials*, Vol. 47(7), Pp. 3552-9. (2018).
21. Hoseinzadeh, S., Ramezani, A. H., "Tantalum/ Nitrogen and n-type WO 3 emiconductor/FTO Structures as a Cathode for the Future of Nanodevices., J Nanostruct", Vol. 9(2), Pp. 276-286, (2019).
22. Ramezani, A.H., Hoseinzadeh, S., Sari, A.H., "Experimental Investigation of Corrosion Improvement Implanted Ta by Ar–Ni Ions", *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics,* Vol. 14 (3), Pp. 425-430, (2019).
23. Ramezani, A.H., Hoseinzadeh, S., Bahari, A., "The effects of nitrogen on structure, morphology and electrical resistance of tantalum by ion implantation method", *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, Vol. 28 (3), Pp. 847-853, (2018).
24. Ramezani, A.H., Hoseinzadeh, S., Ebrahiminejad., Z., "Structural and mechanical properties of tantalum thin films ected by nitrogen ion implantation", *Modern Physics Letters B,* Vol. 34 (15), Pp. 2050163, (2020).
25. Ramezani, A.H., Hoseinzadeh, S., Ebrahiminejad, Z., Hantehzadeh, M.R., "The study of mechanical and statistical properties of nitrogen ion-implanted Tantalum bulk", *Optik 225*, Pp. 165628, (2021).